

地铁隧道盾构法施工中地层沉降问题分析及控制措施研究

敬竣凯 周苏伟 雷本健

中建八局轨道交通有限公司 江苏 南京 210000

摘要:近几年,我国经济的质量和总量都保持快速增长,带动了城市化的快速发展,城市常住人口持续增多,最终导致交通拥挤问题日益加重。地铁以其运行时间长、安全性高、速度快、运输量大等特点,成为缓解人口密度较高的城市地面交通压力的关键方法。本文对地铁隧道盾构法施工中地层沉降问题分析及控制措施进行研究。

关键词:盾构法施工;地层沉降;控制措施

1 盾构施工引起地层沉降的时间效应分析

地铁盾构法施工引起的地层沉降主要可划分为五个阶段,如图1所示。

1.1 先行沉降。指在盾构机还没有到达前,运行产生力的波动,导致在掘进至测量断面前3m左右的位置,持续的掘进导致地基土厚度增大,形成先行沉降。

1.2 掘进过程中的沉降。指盾构机掘进到观测点3m以内的过程中,因土压力的受力不均衡所发生的沉降。

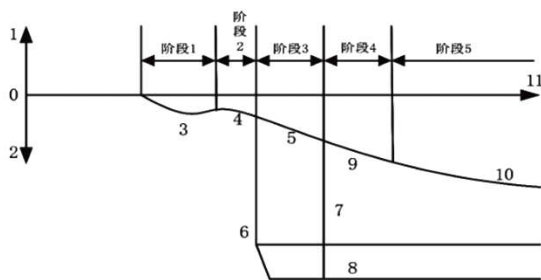
1.3 盾尾沉降。指因土体扰动,盾构机经过观测点期间产生的沉降,该阶段发生沉降的概率占总体沉降概率的35%左右。

1.4 盾尾空隙沉降。指当盾尾通过观测点后,盾尾空隙留存的土体较为松散,若灌浆不及时,产生应力释放发生的沉降。

1.5 后续沉降。指的是盾构机远离观测点后,土体仍会出

1.6 现二次固结而导致沉降发生。该沉降发生次数较多占总沉降

1.7 概率的10%左右^[1]。



1-隆起; 2-沉降; 3-先行沉降; 4-开挖面前沉降; 5-盾尾沉降; 6-开挖面; 7-盾尾; 8-盾构机; 9-盾尾空隙沉降; 10-后续沉降; 11-时间轴

图1 盾构施工导致沉降的变异过程

个人简介:敬竣凯, 1995.02, 四川省南充市, 汉, 男, 本科, 助理工程师, BIM工程师, 山西大学, 土木工程-轨道交通, 邮箱qq605327701@126.com。

2 地铁盾构施工引起地表沉降原因及影响因素分析

2.1 地层沉降原因

2.1.1 地层损失

早在1969年Peck观察大量地表沉降数据后,发现在隧道开挖前和竣工后的土体体积不一样,其差值就是地层损失。地层损失所占盾构排土体积理论值的比重称为地层损失率,用 V_l (%)表示。圆形盾构排土体积的理论值可用 $\pi r_0^2 l$ 表示(其中 r_0 为圆形盾构外径, l 为隧道掘进单位长度大小, $V_l=V_l$ (%) $\times \pi r_0^2 l$ 表示单位长度地层损失值)。地层沉降出现的主要原因是,周围土体位移以弥补因隧道挖掘过程中形成土体扰动而出现地层损失。地层损失可分为三类:其一是正常损失,正常损失无法避免,前提是技术或施工人员的操作流程符合操作规范,排除人为影响,而受地层环境复杂和施工方式的单一化的影响产生的地层损失,该损失具有随机性因素,因此造成的沉降较为均匀;其二是不正常损失,因施工环境的复杂多变,技术或施工人员出现操作上或技术上的错误造成的地层损失;其三是破坏性损失,由于不良土质导致盾构开挖面不稳定而发生土体大量流动或大面积的崩塌,所引起破坏性的地表沉降。

2.1.2 受扰动土体的重新固结

受扰动土固结沉降的主要受孔隙水压、土体搅动、管片渗漏水等影响产生的,产生两种沉降形式,一种为主固结沉降,另一种为次固结沉降,主要因为两者沉降原因不同,前者主要由孔的间隙水压力不同而产生的;后者主要由土体蠕变过程中因压缩变形而产生的^[2]。

2.2 地表沉降的影响因素分析

2.2.1 开挖面土体移动

在开挖面土体盾构掘进过程中造成的地表沉降,主要由土体水平支护应力小于重力或是盾构无法承受掌子面前方土体的侧向力而导致盾构前上方隆起而产生沉降。

2.2.2 盾构超挖

在施工期间，盾构超挖使得盾构壳周围产生空隙，而千斤顶自锁性能差导致盾构后退，空隙处土体移动而产生土压平衡失效，造成地层沉降。

2.2.3 土体挤入盾尾空隙

在含水量变动的地层中，土体挤入盾尾空隙的现象时常发生。由于千斤顶在推动盾构向前的同时会在盾尾处产生的缝隙，而该缝隙一旦注浆不及时或参数不当，就会出现土体平稳性失常，从而引发地层损失。

2.2.4 盾构壳与周围土体之间的摩擦

由于部分地质具有粘结性，被千斤顶推动着的盾构壳在向前掘进时会产生两种方式的摩擦力。第一种产生于盾构机与周围土体之间产生的前向摩擦力，会致使周围土体发生水平位移。第二种产生于盾构机与前方的土体的压力，使前面土体运动方向向前或周围移动。两种方式的综合影响，最直观的现象就是地表土体隆起。与此同时，部分土体具有收缩性质，也会导致地面沉降。

2.2.5 水土压力或地质条件突变

水压力导致混凝土管片变形而产生的底层移动或是地质条件突变时，导致开挖面的形变产生地层损失而产生沉降。

3 地铁盾构施工中地层沉降控制措施

3.1 选择适宜的掘进模式

施工条件的差异化导致掘进模式选择的多样化，不恰当的掘进模式易造成不同程度的沉降。盾构机可以在土压平衡、半敞开和敞开支三种模式进行转换，模式的选择主要根据不同的地质条件所对应的施工参数。根据施工参数，对于本区间而言，土压平衡模式更有利于施工^[3]。

3.2 控制掘进速度

掘进速度需要考虑到地质条件且尽量使土体切削，一般推进速度处于20~30mm/min之间。

3.3 优化施工参数

3.3.1 合理设置土压力值

隧道覆土厚度不同产生的土舱压力也会有差异，在盾构刀盘面施加的土压力势均力敌的条件下，土体不会受太大搅动，地层位移和沉降问题也基本不会出现。当原静止土压力无法承受盾构刀盘面施加的压力，则土体易在压力差下会产生形变和位移，从而导致地面的隆起。开挖面的稳定和仓内外土体的压力差值、出土量有着相互关联。通常控制两者来稳定开挖面。开挖面前方土体受干扰的范围与开挖面的稳定性有关，因此，控制土舱内压力，保持比土体压力要高，以减少开挖面对土体的搅动。施工中，需要对特定地层的目标土压实施动态监控与测量，控制开挖面的土压在合理的范围内变

化。一旦目标压力值波动出现偏差，通过开挖面周围土压和出土量及时修正。

3.3.2 同步注浆

同步注浆是指在盾构机内置的注浆管内提前放置好浆液，以便在盾构掘进中产生盾构空隙时，通过盾构机内置的浆液直接从盾构机尾部向壁后注浆，目的是加固地层形成支撑力，减少盾构机运行过程中隧道周围土地扰动，降低地层损失，避免隧道塌陷。

3.3.3 注浆量的确定

注浆量最主要是确保建筑空隙得到及时和足量的填充，以便形成支撑作用，防止地层损失。掘进过程中建筑总孔隙 G_p 理论值公式如下：

$$G_p = \pi L(R^2 - r^2) + g$$

其中，L为环宽（m），R为盾构外半径（m），r为管片外半径（m），g为盾壳外注入浆管总体积（m³）。一般注浆量实际值比理论值大，主要由于盾构机掘进的过程中会受到纠偏、曲线推进、漏浆、浆体因干燥结块等因素的影响，导致实际注浆偏多。浆液注入量记为Q，公式如下：

$$Q = [\frac{\pi}{4}(D_1^2 - D_2^2)]ma$$

其中， D_1 为盾构机外径（m）， D_2 为管片外径（m），m为盾构机推进长度，a为注入率。

3.3.4 注浆压力的确定及控制

注浆压力与浆液物化性质、土仓内压、管片物理性质和设备性能有关，最关键的是受地层阻力影响。注浆压力通常设置在0.1~0.3MPa之间，具体数值要根据现场情况具体设置。不同的地层情况，注浆压力也会有所不同。一般全风化地层注浆压力设置在1.5~3.0bar之间；中风化地层设置在1.0~1.5bar之间。受管片的抗剪切特性影响，一般注浆压力设置需不大于1MPa^[4]。

3.3.5 注浆浆液

管片注浆一方面可以控制隧道变形，另一方面可以提升防渗能力。注浆浆液应具备以下几点性能：①浆液填充性强；②浆液和易性强；③浆液初凝时间短且初凝早期强度较高；④浆液粘稠度适中。浆液的配合比如表1所示。

水泥 /(kg/m ³)	粉煤灰 /(kg/m ³)	砂 /(kg/m ³)	膨润土 /(kg/m ³)	水 /(kg/m ³)	初凝时间 /h	7d强度 /MPa	注浆 效果
126	504	893	46	401	6~7	>2	不常 堵管

表1 浆液配比表

3.4 二次注浆

需要二次注浆的有以下几种情况：①第一次填充未充分；②第一次注浆量出现缩减情况；③提高结构抗渗透能力。

3.4.1 浆液

通常选用水泥浆和水玻璃双液浆，水泥浆水灰比取1:1，水玻璃加量60%~100%。需要通过实验确定水玻璃的用量，大多以浆液初凝时间为准，为预防出现不良情况，需要现场试验。规定1h后的单轴抗压强度为0.1MPa左右。

3.4.2 注浆压力

只有在注入压力的推动下，浆液才能顺利注入，但要控制注浆压力不超过0.4MPa。本区间采用的二次注浆压力控制在0.2~0.4MPa之间。

4 衬砌接缝防水

盾构隧道衬砌接缝防水有以下几点要求：①隧道出现错动时具有弹性功能和承压能力与之适应；②工作期具有良好的弹性；③易和混凝土结构发生粘合；④耐受

地下水侵蚀^[5]。

结束语

文中通过分析地层沉降的原因及影响因素，提出相应的控制措施，能有效控制地表沉降对周围建筑物的影响，为同类型项目提供参考和借鉴。

参考文献

- [1]王剑.地铁隧道盾构法施工中的地面沉降问题分析[J].写真地理, 2020(15): 107.
- [2]王林辉.某跨海地铁隧道总体技术方案研究[J].铁道勘察.2022(01);57-58
- [3]练翔.地铁隧道工程双区间盾构掘进与接收施工[J].浙江水利水电学院学报.2021(04)58-59
- [4]楼朝伟,赵冬旭.地铁隧道下穿淤泥地层工法比选及技术探讨[J].铁道标准设计.2016(12);109
- [5]严佳梁.既有地铁隧道正上方明挖法基坑施工工法[J].建筑技术开发.2021(18);120